

鲜切雷竹笋冷藏过程中木质化机理的研究

周琦¹, 陈季旺^{1,*}, 高俊¹, 蔡广霞¹, 庞彦卿², 宋光森³

(1. 武汉工业学院食品科学与工程学院, 湖北 武汉 430023; 2. 湖北瑞发生物工程股份有限公司, 湖北 崇阳 437500; 3. 武汉工业学院化学与环境工程学院, 湖北 武汉 430023)

摘要: 研究鲜切雷竹笋在 4℃ 冷藏条件下苯丙氨酸解氨酶(PAL)、过氧化物酶(POD)和多酚氧化酶(PPO)活力及丙二醛(MDA)、多酚、木质素含量的变化规律, 探讨其木质化机理。结果显示: 在冷藏过程中, PAL、POD 活力、MDA 含量呈先上升, 后下降的趋势; PPO 活力在前 6d 缓慢上升, 第 15 天开始下降; 多酚含量在冷藏前 6d 急剧下降, 后缓慢上升, 第 12 天又开始下降; 木质素含量不断增加, 基部为 5%~26%, 中部为 3%~24%, 尖部为 2%~22%。结果表明: 在冷藏期内, PAL、POD 活力大幅度增加, 是导致鲜切雷竹笋木质化的关键酶; 酚类物质作为木质素合成的前体物质, 参与木质素的合成; MDA 可能参与鲜切雷竹笋的木质化进程, 但需进一步验证; 木质素含量从基部向尖部逐渐降低, 木质化进程是从基部向尖部推进的。

关键词: 鲜切雷竹笋; 冷藏; 苯丙氨酸解氨酶(PAL); 过氧化物酶(POD); 木质化

Lignification Mechanism of Fresh-Cut Bamboo Shoots during Cold Storage

ZHOU Qi¹, CHEN Ji-wang^{1,*}, GAO Jun¹, CAI Guang-xia¹, PANG Yan-qing², SONG Guang-sen³

(1. College of Food Science and Engineering, Wuhan Polytechnic University, Wuhan 430023, China;

2. Ruifa Bioengineering Co. Ltd., Chongyang 437500, China;

3. College of Chemical and Environmental Engineering, Wuhan Polytechnic University, Wuhan 430023, China)

Abstract: The activities of phenylalanine ammonialyase (PAL), peroxidase (POD) and polyphenol oxidase (PPO) and the contents of malondialdehyde (MDA), polyphenol and lignin in fresh-cut bamboo shoots stored at 4 °C were measured and the lignification mechanism was explored. The results indicated that the activities of PAL and POD and MDA content tended to increase and then decrease with increasing storage time. PPO activity slowly ascended during the first 6 days, and began to descend on the 15th day, whereas polyphenol content sharply declined during the first 6 days, then slow rose, and began to decline again on the 12th day. Lignin content showed a continuous increase, which was 5%–26% in the bottom, 3%–24% in the middle and 2%–22% in the top. These data suggest that the activities of PAL and POD considerably increase during cold storage, which are the key enzymes in the lignification of fresh-cut bamboo shoots. Moreover, phenolic compounds are involved in the synthesis of lignin by providing precursors. Meanwhile, MDA may also be involved in the lignification of fresh-cut bamboo shoots, which needs further identification. Lignin content gradually decreases from the bottom to the top of bamboo shoots, implying the lignification process proceeds from the bottom to the top.

Key words: fresh-cut bamboo shoots; cold storage; phenylalanine aminolyase; peroxidase; lignification

中图分类号: TS255.3

文献标识码: A

文章编号: 1002-6630(2012)14-0307-05

雷竹笋(*Phyllostachys praecox f. prevelnalis*)是近年发展起来的优良笋用种, 通常作蔬菜食用。其味鲜美, 质地脆嫩, 深受人们喜爱^[1]。雷竹笋含有丰富的糖、蛋白质, 还富含膳食纤维, 能与消化道中的有害物质相结合而排出体外, 从而减少胃肠道疾病的发生, 具有显著

的保健功能, 被称为“素食第一品”^[2], 此外, 雷竹笋富含 18 种氨基酸和多种人体必需的微量元素, 如 Se 和 Ge 等, 被誉为“山菜之王”。

雷竹笋多以带壳和清水罐装的形式在各地蔬菜市场销售。随着生活节奏的不断加快, 消费水平的日益提

收稿日期: 2011-09-11

基金项目: 湖北省自然科学基金项目(2010CBB02601); 湖北省科学研究与计划专项(2010BBB067);

武汉工业学院研究生创新基金项目(09CX015)

作者简介: 周琦(1986—), 女, 硕士研究生, 研究方向为果蔬深加工机理与技术。E-mail: zhouqi0982@163.com

* 通信作者: 陈季旺(1970—), 男, 副教授, 博士, 研究方向为果蔬深加工机理与技术。E-mail: jiwangchen@yahoo.com.cn

高, 去壳清洗的鲜切雷竹笋已进入中国大中城市。鲜切雷竹笋清洁卫生, 新鲜方便, 但在加工贮藏过程中极易木质化和褐变, 影响食用性。

竹笋在加工贮藏过程中伴随着一系列酶活力的变化, 这种酶活力变化是引起竹笋品质劣变和营养成分损失的重要因素。竹笋中的酶多种多样, 目前研究比较多的是与竹笋木质化相关的酶, 如苯丙氨酸解氨酶(phenylalanine ammonia, PAL)、过氧化物酶(peroxidase, POD)、多酚氧化酶(polyphenoloxidase, PPO)、过氧化氢酶(catalase, CAT)、超氧化物歧化酶(superoxide dismutase, SOD)等。随着木质化的进行, 也伴随着一系列相关物质的变化, 如酚类物质、丙二醛(MDA)等^[3]。陆胜民等^[4]通过研究指出, 雷竹笋 PAL 和 POD 活力增加促进了木质素的合成, 从而导致雷竹笋发生木质化; 罗自生等^[5]通过研究指出毛竹笋贮藏期间, PAL、POD 和 PPO 活力上升, 促进木质素等物质的合成, 从而导致组织木质化。以上报道表明, 竹笋木质化过程与 PAL、POD、PPO 活力和酚类物质、MDA 等密切相关。目前, 国内外对毛竹笋等木质化生理生化机制的研究报道较多, 但对雷竹笋木质化的机理研究较少, 特别是有关鲜切雷竹笋木质化进程及其与内源酶活力关系的研究还未见报道。

本实验通过分析鲜切雷竹笋冷藏过程中 PAL、POD、PPO 活力以及 MDA、多酚、木质素含量变化, 探讨鲜切雷竹笋木质化的生理生化机制, 拟为进一步研究鲜切雷竹笋保鲜技术提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

雷竹笋 湖北瑞发生物工程有限公司。挑选长度为 20~30cm, 底部直径为 4~5cm, 无病虫害和机械损伤的雷竹笋用于试验。将挑选好的雷竹笋剥去笋壳后, 清洗干净。将底部横截面切齐后, 沿裸笋横向平均切分为基、中、尖段, 然后分别切片。处理好的基、中、尖段分别用 5% 山梨酸钾溶液浸泡 10min 后, 自然阴干后按基、中、尖部分盘装好, 每盘 3 个平行, 贮藏在 4℃, RH 为 90% 的恒温恒湿箱中。每 3d 抽样测定一次, 每次测定时分别取基、中、尖部的雷竹笋。

L- 苯丙氨酸 中国医药集团上海化学试剂公司; 邻苯二酚、2- 巯代巴比妥酸、聚乙烯吡咯烷酮(PVPP)、愈创木酚 国药集团化学试剂有限公司; 2- 巯基乙醇 成都科龙化工试剂厂; 聚乙二醇 6000 天津市化学试剂厂; 没食子酸标准品 中国药品生物制品检定研究所; L- 苯丙氨酸和没食子酸标准品为生化试剂; 其余均为分析纯。

1.2 仪器与设备

MP-200A 电子天平 上海仪器厂; T6 新世纪紫外可见分光光度计 北京普析通用仪器有限公司; WFJ-7200 可见光分光光度计 上海尤尼柯仪器有限公司; SHB-III 循环水式多用真空泵 郑州长城科工贸公司; LRH-150-S 恒温恒湿箱 广东医疗器械厂; FW-80 微型高速粉碎机 郑州科丰仪器设备有限公司; TGL-16C 高速离心机 上海安亭仪器有限公司; DHG-9140A 电热恒温鼓风干燥箱 上海精宏实验设备有限公司; NH-S 电热恒温水浴锅 巩义市英峪予华仪器厂。

1.3 方法

1.3.1 PAL、POD、PPO 活力测定

参考曹建康等^[6]方法并加以改进。称取 5g 笋肉测定, PAL 以每克雷竹笋(鲜质量)每小时 OD₂₉₀ 值增加 0.01 时为 1 个 PAL 活力单位(1U); POD 活力以每克雷竹笋(鲜质量)每分钟 OD₄₇₀ 值增加 1 时为 1 个 POD 活力单位(1U); PPO 活力以每克雷竹笋(鲜质量)每分钟 OD₄₂₀ 值增加 1 时为 1 个 PPO 活力单位(1U)。

1.3.2 MDA 含量测定

参考李合生^[7]的方法并加以改进。称取 4g 笋肉测定, MDA 含量以 $\mu\text{mol/g}$ 表示。

1.3.3 多酚含量测定

参考 Pirie 等^[8]的方法加以改进。称取 5g 笋肉, 加入 25mL 的 1% HCl- 甲醇在冰浴条件下研磨至匀浆后, 转入 25mL 的刻度试管中。用 1% HCl- 甲醇溶液冲洗研钵, 一并转入试管中, 摇匀, 4℃ 提取 4h, 期间摇动数次。过滤, 收集滤液备用。以 1% HCl- 甲醇溶液作为空白参比, 测定 280nmOD 值。用没食子酸作标准曲线计算多酚含量, 单位为 mg/g。

1.3.4 木质素含量测定

参考罗晓丽^[9]的方法并加以改进。将鲜切雷竹笋样分别取样、烘干, 磨粉, 过 60 目筛。精确称取 1g 移入 100mL 烧杯中, 加入质量分数 72% 的浓硫酸 15mL, 充分搅拌后。于 20℃ 条件放置 2h, 之后转移到 1000mL 烧杯中, 用蒸馏水洗涤, 洗涤液一并转入 1000mL 烧杯, 使最终体积达到 575mL。将该稀酸液煮沸 4h 并维持恒定的体积。冷却后, 用已质量恒定的砂芯坩埚抽吸过滤, 用热水洗至无残留酸为止, 于 105℃ 干燥至质量恒定称量。

1.4 统计分析

试验按完全随机设计, 试验结果为不同部分的 3 个处理分别取样, 测定 3 次数据的“平均值±标准差”(图中的垂直线表示), 用 Excel 软件作图。采用 SPSS 17.0 对所得的结果进行相关性分析。

2 结果与分析

2.1 PAL、POD、PPO 活力变化

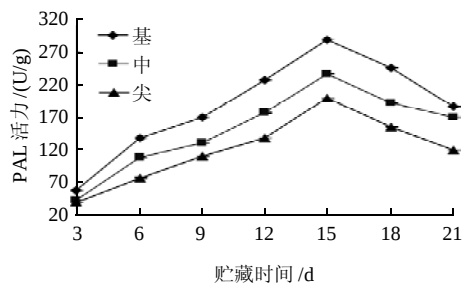


图1 4℃冷藏条件下PAL活力变化

Fig.1 Change in PAL activity in different sections of fresh-cut bamboo shoots during storage at 4 °C

PAL是影响果蔬食用品质的关键内源酶之一, PAL催化苯丙氨酸脱氨基形成肉桂酸, 肉桂酸在一系列酶促反应条件下, 最后形成了木质素前体物松柏醇、芥子醇、对-香豆醇等芳香醇^[9]。大量研究表明, 果蔬受机械损伤后, PAL活力上升。李正国等^[10]研究表明: 在逆境环境中, 苯丙烷类代谢被激活, 促使PAL活力上升, 通过产生较多植酸、木质素等来减少自身所受的伤害。当合成较多次生物物质后, 它们会反馈抑制PAL活力, 从而减少营养物质的消耗, 并防止次生物物质过度积累产生毒害。

从图1可知, 鲜切雷竹笋在4℃冷藏过程中, 基、中、尖部的PAL活力变化趋势相同, 都是呈先上升后下降的趋势。冷藏前期, PAL活力上升较快, 第15天时达到峰值后下降。在冷藏过程中, PAL活力从基部到尖部逐渐降低, 基部最高, 中部次之, 尖部最低。在毛竹笋^[11]、鲜切胡萝卜^[12]等果蔬保鲜研究中有相同的报道。

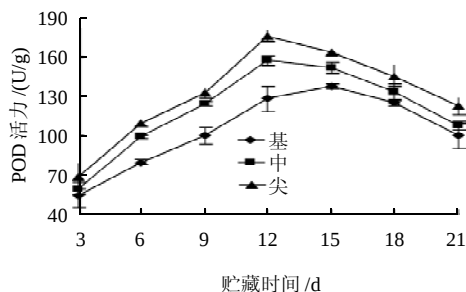


图2 4℃冷藏条件下POD活力变化

Fig.2 Change in POD activity in different sections of fresh-cut bamboo shoots during storage at 4 °C

POD是果蔬成熟和衰老的标志之一, 在果蔬的衰老

过程中, POD活力一般呈上升趋势。从图2中可以看出: 鲜切雷竹笋在4℃冷藏过程中, 随着冷藏时间的延长, 基、中、尖部的POD活力呈先上升后下降的趋势。Krishna等^[13]的研究的结果表明: 在贮藏过程中, POD活力是呈先上升后下降的趋势。

基、中、尖部的POD活力前12d呈明显上升的趋势, 基部从54.5U/g增加到128U/g, 中部从59.5U/g增加到167.4U/g, 尖部则从68.8U/g增加到176U/g, 第12天后呈下降趋势。在冷藏过程中, POD活力从基部到尖部依次增大(尖部>中部>基部)。

第12天后, 基、中、尖部的POD活力下降, 可能是因为鲜切破坏了膜系统的完整性, 加快细胞壁裂解, 促进活力氧 O_2^- 和 H_2O_2 的形成, 同时切伤造成的氧化胁迫可诱导POD活力的增加。 H_2O_2 是的主要底物之一, 低浓度 H_2O_2 可提高POD的活力, 高浓度则反过来抑制POD活力, POD活力的下降可能是由于随着冷藏时间的延长, 高 H_2O_2 浓度从而抑制了其活力^[14]。

PPO是酚类物质合成的一个关键酶。它具有双重作用, 既可催化酚的氧化导致果肉组织褐变, 又可催化香豆酸向咖啡酸转化, 为木质素合成提供前体物质^[15]。

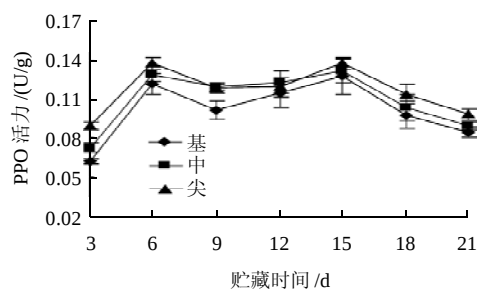


图3 4℃冷藏条件下PPO活力变化

Fig.3 Change in PPO activity in different sections of fresh-cut bamboo shoots during storage at 4 °C

从图3可以看出: 鲜切雷竹笋在4℃冷藏过程中, 基、中、尖部的PPO活力变化趋势基本相同, 前6d内, PPO活力上升, 第6天到第9天, PPO活力下降, 第9~15天, PPO活力缓慢回升, 第15天后, PPO活力又缓慢下降。在冷藏过程中, PPO活力从基部到尖部依次减小: 基部PPO活力最高, 中部次之, 尖部最低。第15天后, PPO活力开始下降, 出现这种现象的原因, 一方面可能是酚类物质氧化成醌和进一步聚合时消耗掉一部分底物; 另一方面可能是褐变组织中PPO受较低的酶反应底物与较高的产物所制约^[2]。

鲜切雷竹笋的PAL和POD活力均呈先上升后下降的变化趋势。贮藏前期, PAL、POD活力上升并保持较高的活力水平, POD活力从12d后开始下降, PAL活

力则是从15d后才开始下降。在前15d内, PAL、POD活力大幅度上升, 可能是因为木质素前体物质大量合成, 加速酚类物质向木质素转化, 从而加剧鲜切雷竹笋的木质化程度^[15]。

鲜切雷竹笋冷藏过程中木质素合成与各种酶相关性结果表明: PAL、POD、PPO活力与木质素含量之间的相关性系数分别是0.768、0.575、0.062(表2), PAL、POD是导致鲜切雷竹笋木质化的关键酶, PPO则与鲜切雷竹笋的木质化无直接关系。

2.2 多酚含量变化

酚类物质既是果蔬贮藏期间组织褐变的物质基础, 同时又是木质素合成的前体物质^[15]。从图4可看出, 鲜切雷竹笋在4℃冷藏过程中, 基、中、尖部的多酚含量变化趋势基本一致, 都是呈先下降后上升, 最终下降的趋势。在冷藏的前6d, 多酚含量急剧下降, 基部从33.36 mg/g下降到12.31 mg/g, 下降了1.71倍, 中部从37.75mg/g到12.81mg/g, 下降了1.94倍; 尖部则是从38.16 mg/g到16.73mg/g, 下降了1.28倍。从第7天开始缓慢上升, 第12天后, 开始缓慢下降。这和Lichanporn等^[16]研究龙宫果褐变机制中多酚含量的变化趋势一致。

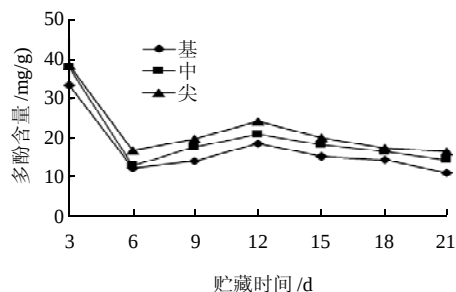


图4 4℃冷藏条件下多酚含量变化

Fig.4 Change in polyphenolic content in different sections of fresh-cut bamboo shoots during storage at 4℃

在冷藏初期, 基、中、尖部的多酚含量较高, 这主要是由于鲜切所造成的机械损伤引起的。第12天后, 随着木质素的不断合成, 多酚的含量也逐渐减少。多酚含量在鲜切雷竹笋中的分布以尖部最高, 中部次之, 基部含量最低。

鲜切雷竹笋冷藏过程中木质素合成与多酚含量相关性结果表明: 多酚含量与木质素含量之间呈显著的负相关性($r = -0.528$)(表2)。在冷藏过程, 鲜切雷竹笋多酚含量总体上呈下降趋势, 与木质素含量的变化规律相反, 这与酚类物质作为合成木质素的前体物质密切相

关。鲜切雷竹笋中酚类物质参与木质素的合成, 导致酚类物质含量下降。

2.3 MDA含量变化

MDA是膜脂氧化降解的典型产物, MDA含量可直接反映植物体膜脂过氧化程度, MDA含量越高, 植物细胞膜损伤越严重, MDA含量的增加一般都是果蔬衰老的显著标志^[17]。从图5可知, 鲜切雷竹笋在4℃冷藏过程中, 基、中、尖部的MDA含量变化趋势基本相同, 都是呈先上升后下降的趋势。贮藏的前12d, MDA含量急剧上升, 第12天达到峰值后, MDA含量随之下降。Kovacik等^[18]研究表明: 在常温贮藏下, MDA含量呈前期上升、后期下降的趋势。

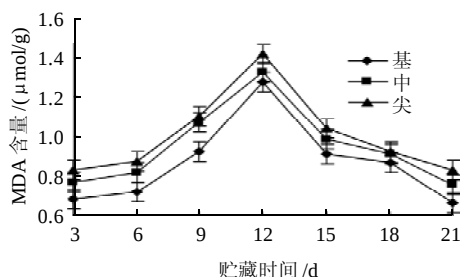


图5 4℃冷藏条件下MDA含量变化

Fig.5 Change in MDA content in different sections of fresh-cut bamboo shoots during storage at 4℃

MDA含量越高, 植物细胞膜损伤越严重。在冷藏前期, 鲜切雷竹笋基、中、尖部的MDA含量逐渐上升, 第12天达到峰值后下降。鲜切造成的机械损伤和雷竹笋的组织衰老可能对雷竹笋的膜系统造成了破坏, 细胞膜透性上升, 膜脂过氧化产物MDA大量积累, 最终导致了木质化症状的发生。

鲜切雷竹笋冷藏过程中木质素合成与MDA含量相关性结果表明: MDA含量与木质素含量之间相关性系数是-0.252(表2), 说明MDA可能与雷竹笋的木质化进程有一定的关系, 但需要进一步验证。

2.4 木质素含量变化

木质素为植物次生代谢的产物, 属酚类化合物, 是构成细胞壁次生结构的主要成分, 植物组织质地老化就包括在贮藏过程中木质素含量的增加。

在冷藏过程中, 鲜切雷竹笋木质素含量呈一直上升趋势, 基部由最初5%上升到26%, 增加了4.2倍; 中部由最初3%上升到24%, 增加了7倍; 尖部由最初2%上升到22%, 增加了10倍。从总体上看: 基、中、尖部的木质素含量依次下降(基部>中部>尖部), 且基、中、尖部的木质素含量增长速度依次降低, 尖部最快, 中部其次, 基部最慢。

表1 4℃冷藏条件下木质素含量变化

Table 1 Change in lignin content in different sections of fresh-cut bamboo shoots during storage at 4℃

时间/d	基部/%	中部/%	尖部/%
3	0.05	0.03	0.02
6	0.11	0.09	0.08
9	0.16	0.15	0.14
12	0.18	0.17	0.15
15	0.21	0.20	0.19
18	0.24	0.23	0.21
21	0.26	0.24	0.22

表2 木质素含量与酶活性、MDA、多酚含量的相关性系数表

Table 2 Correlation coefficients between lignin content and relevant enzyme activities, MDA content or polyphenolic content

指标	PAL	POD	PPO	MDA	多酚
相关系数	0.768**	0.575**	-0.062	-0.252	-0.528*

注: **.在置信度(双侧)为0.01时,相关性是显著的;*.在置信度(双侧)为0.05时,相关性显著。

随着冷藏时间延长,基、中、尖部的PAL、POD活力大幅度增加,与此同时鲜切雷竹笋中木质素含量也一直增加,这说明鲜切雷竹笋的木质化过程与PAL和POD这两种酶密切相关,这与王敬文^[19]在竹笋采后生理的研究中的出的结论一样。鲜切雷竹笋在冷藏过程中,多酚含量的变化与木质素含量的变化趋势相反,酚类物质作为木质素合成的前体而被消耗。

此外,从总体上看,基、中、尖部的木质素含量呈依次下降的趋势,基部木质素含量最高,中部次之,尖部木质素含量最低,说明鲜切雷竹笋在贮藏过程中,木质化过程是从基部向尖部延伸,最后导致了整个笋体老化,使鲜切雷竹笋丧失了可食性。

3 结 论

3.1 PAL、POD、PPO活力与鲜切雷竹笋木质素含量之间的相关性系数分别是0.768、0.575和0.062, PAL、POD活力是影响鲜切雷竹笋木质化进程的关键内源酶, PPO活力与鲜切雷竹笋木质化无直接关系。

3.2 多酚、MDA含量与鲜切雷竹笋木质素含量之间的相关性系数分别是-0.528、-0.252,说明酚类物质作为木质素合成的前体物质,在鲜切雷竹笋冷藏过程中参与木质素的合成,导致多酚含量下降而木质素含量上升;MDA可能参与鲜切雷竹笋的木质化进程,但需要

进一步验证。

3.3 鲜切雷竹笋木质化过程是从基部逐渐延伸到尖部,导致了整个笋体老化,使鲜切雷竹笋丧失了可食性。

参考文献:

- [1] 林海萍, 吴家森, 付顺华, 等. 雷竹笋采后贮藏生理的研究[J]. 江苏林业科技, 2002, 29(2): 16-17.
- [2] 孔凡春. MAP保鲜特色果蔬的研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2004.
- [3] 罗晓莉. 不同处理对竹笋采后木质化及品质的影响[D]. 重庆: 西南大学, 2007.
- [4] 陆胜民, 孔凡春. 低氧气调包装对去壳雷笋褐变和木质化的影响[J]. 植物生理与分子生物学学报, 2004, 30(4): 387-392.
- [5] 罗自生, 张莉. 臭氧处理对竹笋木质化及相关酶活性的影响[J]. 农业机械学报, 2010, 41(11): 115-118.
- [6] 曹建康, 姜微波, 赵玉梅. 果蔬采后生理生化实验指导[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2007.
- [7] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006.
- [8] PIRIE A, MULLINS M G. Changes in anthocyanin and phenolics content of grapevine leaf and fruit tissues treated with sucrose, nitrate, and abscisic Acid[J]. Plant Physiol, 1976, 58(4):468-472.
- [9] 刘尊英. 绿芦笋(*Asparagus officinalis* L.)木质化的生理生化基础及其调控技术研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2003.
- [10] 李正国, 高雪, 樊晶, 等. 奉节脐橙果实苯丙氨酸解氨酶活性及其基因表达与果皮褐变的关系[J]. 植物生理与分子生物学学报, 2006, 32(3): 381-386.
- [11] 吴晓丽, 顾小平, 苏梦云, 等. 离体毛竹笋纤维和木质素含量及POD和PAL活性研究[J]. 林业科学研究, 2008, 21(5): 697-701.
- [12] 马跃, 胡文忠, 程双, 等. 鲜切胡萝卜的生理生化及品质变化的研究[J]. 食品工业科技, 2009, 30(12): 352-355.
- [13] KRISHNA H, SAIRAM R K, SINGH S K, et al. Mango explant browning: effect of ontogenic age, mycorrhization and pre-treatments[J]. Scientia Horticulturae, 2008, 118(2): 132-138.
- [14] OMS-OLIU G, ODRIOLZOLA-SERRANO I, SOLIVA-FORTUNY R, et al. The role of peroxidase on the antioxidant potential of fresh-cut Piel de Sapo' melon packaged under different modified atmospheres[J]. Food Chemistry, 2008, 106(3): 1085-1092.
- [15] 刘国强, 吴锦程, 唐朝晖, 等. 枇杷采后酚类物质代谢与果肉木质化的关系[J]. 中国农学通报, 2008(1): 247-251.
- [16] LICHANPORN I, SRILAONG V, WONGS-AREE C, et al. Postharvest physiology and browning of longkong (*Aglaia dookoo* Griff.) fruit under ambient conditions[J]. Postharvest Biology and Technology, 2009, 52(3): 294-299.
- [17] FOBEL M, LYNCH D V, THOMPSON J E. Membrane deterioration in senescing carnation flowers: coordinated effects of phospholipid degradation and the action of membranous lipooxygenase[J]. Plant Physiol, 1987, 85(1): 204-211.
- [18] KOVÁČIK J, KLEJDUS B, BAČKOR M, et al. Phenylalanine ammonia-lyase activity and phenolic compounds accumulation in nitrogen-deficient *Matricaria chamomilla* leaf rosettes[J]. Plant Science, 2007, 172(2): 393-399.
- [19] 王敬文. 采后竹笋老化生理研究[J]. 林业科学研究, 2002, 15(6): 687-692.